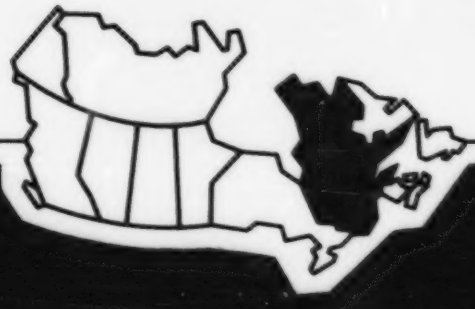
Government of Canada | Gouvernement du Canada
Canadian Forestry Service | Service canadien des forêts

MIMOSOL

J. Beaulieu, A. Corriveau, and G. Daoust



Information Report LAU-X-69E
Laurentian Forestry Centre

86-03185/

CENTRE DE FORESTERIE DES LAURENTIDES

Le Centre de foresterie des Laurentides (CFL) est un des six établissements régionaux du Service canadien des forêts (SCF). Le Centre poursuit des travaux de recherche et de développement pour un aménagement et une utilisation plus rationnels des ressources forestières du Québec. En collaboration avec divers groupes et organismes québécois, les chercheurs du CFL visent à acquérir une meilleure compréhension du fonctionnement des écosystèmes forestiers en vue de contribuer à solutionner les problèmes majeurs en foresterie au Québec et à développer des méthodes acceptables pour l'amélioration et la sauvegarde de l'environnement forestier.

Au Québec, les activités du SCF portent sur trois éléments majeurs: la recherche dans le domaine des ressources forestières, la recherche dans le domaine de la protection et enfin, le développement forestier. La plupart des travaux sont entrepris pour répondre aux besoins des organismes intéressés à l'aménagement forestier, surtout dans le but d'améliorer la protection, la croissance et la qualité de la ressource forestière de la région. L'information est diffusée sous forme de rapports scientifiques, de feuillets techniques ou autres publications dans le but d'atteindre toutes les catégories d'utilisateurs des résultats de recherche.

LAURENTIAN FORESTRY CENTRE

The Laurentian Forestry Centre (LFC) is one of six regional establishments of the Canadian Forestry Service (CFS). The Centre's objective is to promote, through research and development, the most efficient and rational management and use of Quebec's forest. In cooperation with several Quebec agencies, scientists at LFC seek to acquire a better understanding of how the forest ecosystem works with a view to solving major forestry problems and develop methods to improve and to protect the forest environment.

In the province of Quebec, CFS's program consists of three major elements: forest resources research, forest protection research, and forest development. Most of the research is undertaken in response to the needs of forest management agencies, with the aim of improving the protection, growth, and quality of the region's forest resource. The results of this research are distributed to potential users through scientific and technical reports and other publications.

MIMOSOL - Interactive computer program for minimum inbreeding and maximum outcrossing seed orchard layouts

J. Beaulieu, A. Corriveau, and G. Daoust

Information Report LAU-X-69E
1985

Laurentian Forestry Centre
Canadian Forestry Service

Copies are available free of charge from:

Laurentian Forestry Centre
Canadian Forestry Service
1055 du P.E.P.S.
P.O. Box 3800
Sainte-Foy, Quebec
G1V 4C7

Catalog No. Fo46-18/69E
ISSN 0703-2188
ISBN 0-662-14476-7

© Minister of Supply and Services Canada, 1985

Cette publication est aussi disponible en français sous le titre: <<MIMOSOL - Programme informatique interactif pour la réalisation de plans de vergers à graines réduisant l'inbreeding et favorisant l'hétérofécondation.>>

TABLE OF CONTENTS

Page

ABSTRACT v

RÉSUMÉ vi

INTRODUCTION 1

METHODS 1
Types of seed orchard layouts 1
Positioning of individuals 2
Assignment of priority to specific genotypes 3

PROGRAM DESCRIPTION 3
Machine independance 3
Flexibility 3
Maximum processing capability 7

SAMPLE APPLICATIONS 8
Creation of complete-block seed orchard 8
Creation of single-tenant seed orchard 8

REFERENCES 16

ABSTRACT

MIMOSOL is an interactive computer program that will make the tree breeder's seed orchard design task considerably easier. The program will be very useful in the design of both clonal and seedling orchards. Orchard layouts can accommodate complete blocks of equal size or a single tenant.

The primary feature of the MIMOSOL program is that seed orchard layouts can be created minimizing inbreeding and favoring outcrossing, thus producing seed of better genetic quality. The program takes into account each individual's place in the hierarchy of a specific group and pre-established spacing constraints when the individual is positioned. The interactive nature of the MIMOSOL program makes it easy and attractive to use, even for people with limited computer experience.

Note: Copies of the MIMOSOL program may be obtained on request from the authors.

RÉSUMÉ

MIMOSOL est un programme informatique interactif qui facilitera considérablement la tâche de l'améliorateur forestier lors de la réalisation de plans de vergers à graines. Le programme MIMOSOL sera d'une grande utilité aussi bien lors de l'élaboration de plans de vergers à graines clonaux que de celle de plans de vergers à graines de semis. Les plans de vergers pourront être composés de blocs égaux complets ou être d'un seul tenant.

MIMOSOL a pour qualité première de permettre la réalisation de plans de vergers à graines dans lesquels l'inbreeding est minimisé et l'hétérofécondation favorisée, assurant ainsi une meilleure qualité génétique de la semence produite. Pour ce faire, MIMOSOL tient compte, lors du positionnement de chaque individu, de sa ligne hiérarchique d'appartenance à un groupe particulier ainsi que de contraintes d'espacement préétablies. Le caractère interactif du programme informatique MIMOSOL le rend accessible et attrayant, même pour celui que l'ordinateur rebute.

Note: Une copie du programme MIMOSOL peut être obtenue en en faisant la demande auprès des auteurs.

INTRODUCTION

For several years, cries of alarm have gone up across Canada from people concerned about the serious problem of unsatisfactory natural regeneration on harvested or burnt forest sites (Canadian Forestry Association 1977; Science Council of Canada 1983). One of the proposed means for correcting the situation is artificial regeneration, which depends on a suitable and sustained supply of quality seed. Accordingly, many seed orchards have been established. There are various approaches to orchard design (Giertych 1975; Bell and Fletcher 1978; Beaudoin and Desaulniers 1980; Nanson 1985), and layout selection is based on a number of criteria. The two main criteria are minimization of inbreeding and encouragement of outcrossing.

The MIMOSOL computer program was developed to meet these requirements by taking into account the variable family relationships between seed orchard members when assigning them positions within the orchard.

The program eliminates much of the difficulty of producing suitable seed orchard layouts without computer assistance. Because it is interactive, the program is easy to use even for people with limited computer experience.

METHODS

Types of seed orchard layouts

Two types of seed orchard layouts, for either clonal or seedling orchards, can be generated using the MIMOSOL program. The first type is for orchards made up of complete blocks of equal size. Each block contains only one representative of each group (clone or family). The number of blocks can be varied according to the user's needs.

The second type is for orchards in which a given number of individuals are assembled in a single block. In this type, the number of

individuals representing a given group (clone or family) can vary from one group to the next. The MIMOSOL program can be used to develop orchard layouts of this type when the tree breeder wishes to incorporate all available material (ramets or seedlings) into the orchard.

For seedling seed orchards, the family can be taken as the base component of the orchard and represented by a fixed number of full- or half-sibs occupying a given position in the orchard. This permits intra-family selection during subsequent genetic thinnings, after which a single representative of each family is retained at each position.

Positioning of individuals

The position to be occupied by a given individual in the orchard is initially chosen at random. The random choice is then conditioned by a number of constraints designed to minimize inbreeding and, at the same time, encourage outcrossing.

Inbreeding cannot be effectively controlled without knowledge of the family relationships between the individuals making up the orchard. Those with the closest links must be spaced the farthest apart, while those which are unrelated make good neighbors. The MIMOSOL program is able to take into account three hierarchical levels in addition to the level constituted by the block or blocks, including membership in a single clone or family, a single provenance or population, and a single provenance region. To minimize inbreeding, minimum spacing constraints are introduced based on family relationships between individuals. If family links are closer, minimum spacing constraints are stricter. Thus, individuals belonging to clones or families of a single population must be more widely spaced than individuals of different populations, even if they are from the same provenance area.

By limiting the number of times that two individuals of given pedigrees can occupy adjacent or close positions, it is possible to favor

outcrossing. The greater the number of different crosses we wish to obtain, the more we must limit the number of times a given neighborhood will occur i.e., individuals of given pedigrees, say x and y, will be neighbors or near neighbors since genetic exchanges vary as a function of the distance separating the individuals.

Assignment of priority to specific genotypes

Frequently in the design of seed orchards there is a wish to give priority to one or several genotypes by increasing their numerical representation. For example, if the tree breeder has a genotype or population of superior genetic quality, he will want to develop the orchard layout relying primarily on the superior material. The MIMOSOL program can take such considerations into account. To do so, it first positions any groups of preferred origin. When these groups have been positioned, a random distribution subjected to minimum spacing constraints is used again to allocate positions for the other members of the orchard.

PROGRAM DESCRIPTION

Machine independence

The MIMOSOL program is written in FORTRAN IV PLUS. It was developed and tested on a Digital Equipment Corporation PDP11/44 minicomputer belonging to the Canadian Forestry Service at Laurentian Forestry Centre. Since this computer has only limited central memory (64K), the permissible number of positions per block is limited. However, with greater computing power, the program could handle a much larger number of seed-bearers. This would simply involve changing the dimensions of certain matrices and increasing the size of the input-output buffer.

Flexibility

The MIMOSOL program is interactive. The user who runs it is asked, by means of a series of questions, to provide a number of parameter values and positive or negative answers. The questions refer to the various components described in the **Methods**.

To start, the user is asked to indicate the structure of the orchard or the hierarchy and the minimum spacing constraints associated with each level. The terms used to describe the structure are left to the discretion of the user, who can thus create a layout for a clonal orchard or a family orchard.

```
MIMOSOL > WHAT IS THE STRUCTURE OF THE SEED ORCHARD:
USER > POPULATION, FAMILY, INDIVIDUAL
```

In the example below, the user indicates to the computer that the orchard will be composed of a certain number of populations represented by families and that each family will in turn be represented by a given number of individuals equal to the number of blocks (Figure 1).

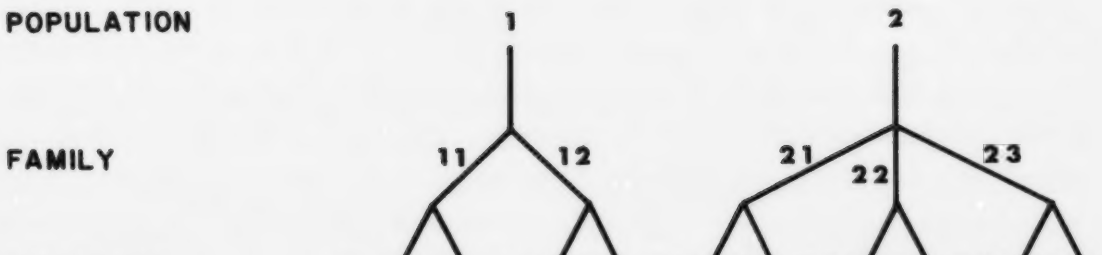


Figure 1. Orchard structure.

Depending on the structure provided, for each hierarchical level, the program asks the number of descending branches and the minimum spacing constraints (n orthogonal distances between adjacent positions) associated with them.

```
MIMOSOL > WHAT IS THE NUMBER OF:  POPULATION
USER > 2
MIMOSOL > IS THE NUMBER OF 'FAMIL' THE SAME FOR ALL 'POPUL'?
USER > NO
MIMOSOL > WHAT IS THE NUMBER OF 'FAMIL' IN 'POPUL' 1
USER > 2
MIMOSOL > WHAT IS THE NUMBER OF 'FAMIL' IN 'POPUL' 2
USER > 3
MIMOSOL > IS THE MINIMUM SPACING THE SAME FOR ALL 'POPUL'?
USER > YES
MIMOSOL > WHAT IS THIS SPACING?
USER > 3
MIMOSOL > WHAT IS THE NUMBER OF: INDIVIDUAL
USER > 2
MIMOSOL > IS THE MINIMUM SPACING THE SAME FOR ALL 'FAMIL'?
USER > YES
MIMOSOL > WHAT IS THIS SPACING?
USER > 4
```

In the above example, minimum spacing has been set at a single value for each branch descending from nodes at the same hierarchical level. However, this spacing can be varied. The minimum spacing specified at the question on populations also applies to individuals belonging to the same population but of different families. The minimum spacing stated at the question on families also applies to the individuals making up a given family and will apply between blocks in this example because the families are represented by only one individual per block.

Next, the user indicates whether he wishes to assign priority to certain groups with regard to positioning. This is done by simply entering the group numbers.

```
MIMOSOL > DO YOU WISH TO POSITION SOME 'POPUL' ON A PRIORITY BASIS?
USER > YES
MIMOSOL > HOW MANY 'POPUL' DO YOU WISH TO POSITION ON A PRIORITY BASIS,
          MAXIMUM OF 6?
USER > 1
MIMOSOL > LIST THE NUMBERS TO BE POSITIONED ON A PRIORITY BASIS
USER > 2
```

Then, the user is asked to indicate the physical size of the orchard. The first values sought are the number of rows (of trees) and the number of columns (individuals per row). The shape of the orchard must be rectangular (or square). Next, the number of rows occupied by a block and the distance between two adjacent orthogonal positions must be specified. The number of individuals per row within a block is calculated by the program.

```
MIMOSOL > WHAT IS THE NUMBER OF ROWS AND COLUMNS IN THE SEED ORCHARD?
USER > 2 5
MIMOSOL > WHAT IS THE NUMBER OF ROWS PER BLOCK AND THE DISTANCE BETWEEN
          'INDIV'?
USER > 2 4
```

As we mentioned in the **Methods**, the MIMOSOL program can also place constraints on neighborhoods to favor outcrossing. To do this, the user simply indicates the maximum number of times that two individuals of given pedigrees will be allowed to be immediate neighbors within the whole of the orchard.

```
MIMOSOL > DO YOU WISH TO FAVOR OUTCROSSING BY CONTROLLING NEIGHBORHOODS?
USER > YES
MIMOSOL > WHAT IS THE MAXIMUM NUMBER OF TIMES THAT TWO INDIVIDUALS OF
          GIVEN PEDIGREES CAN BE NEIGHBORS?
USER > 2
```

Finally, the user can indicate whether the program is authorized to position individuals without taking into account the minimum spacing constraints associated with the hierarchical levels. This may be desirable for the user who wishes to set high minimum spacing constraints for a majority of individuals to be positioned and is willing to drop all constraints for a small percentage of individuals.

```
MIMOSOL > WHAT PERCENTAGE OF THE NUMBER OF INDIVIDUALS MAKING UP A BLOCK
          MUST BE POSITIONED BEFORE SPACING CONSTRAINTS MAY BE NEGLECTED?
USER >95
```

The resulting orchard layout may not be optimal if the constraints are dropped, but it may well be satisfactory. If the user studies the layout and finds it to be unsatisfactory, he can run the program again using less rigid minimum spacing constraints.

Maximum processing capability

The current upper limit for the MIMOSOL program is set at 900 positions per block. This limit is not absolute, however, and can be easily increased by making a few minor changes to the program.

SAMPLE APPLICATIONS

Example 1

Creation of complete-block seed orchard

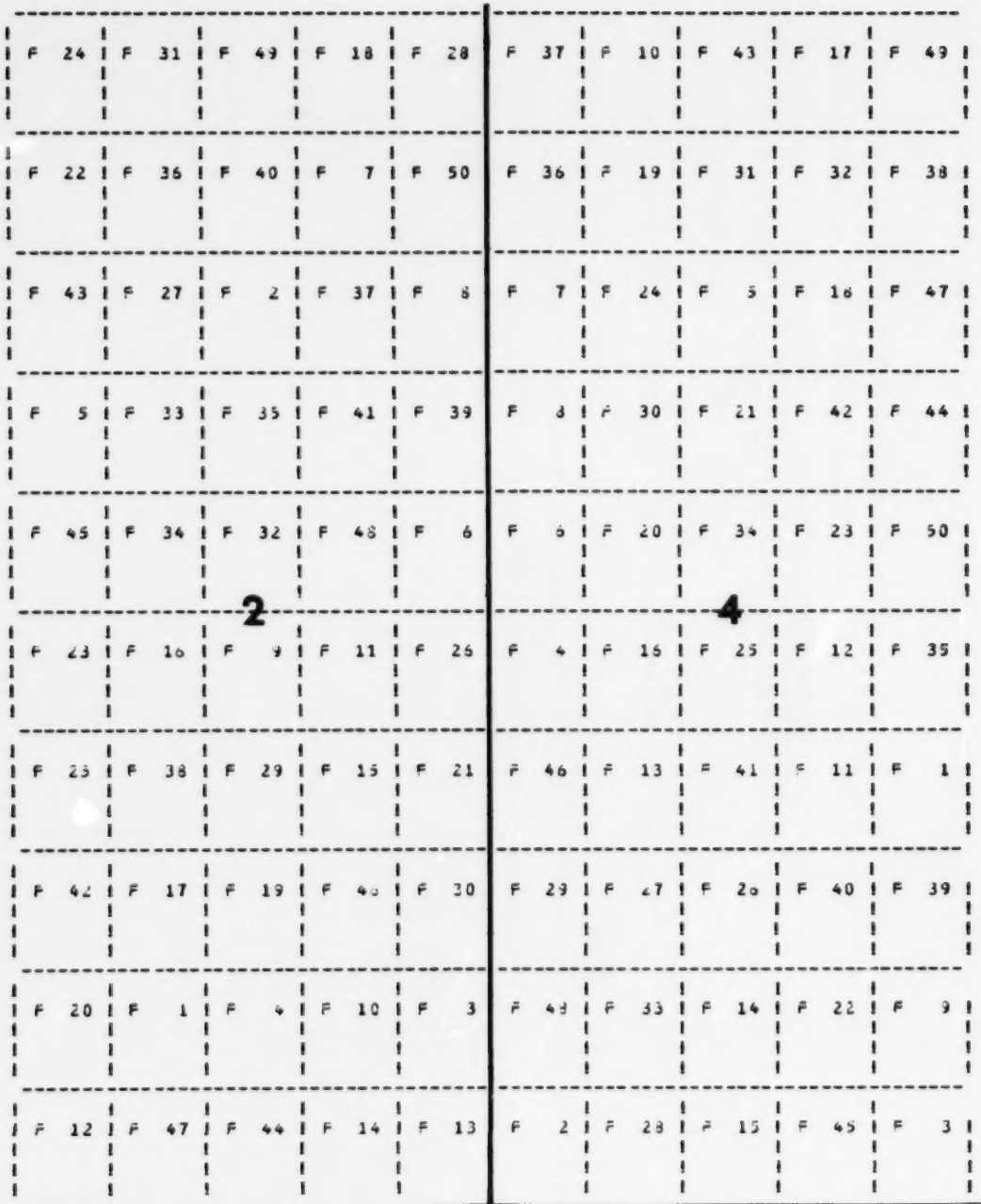
The seed orchard layout presented here is composed of four complete blocks, each containing one representative from 50 families. The spacing between individuals of the same family is at least three times the orthogonal distance between adjacent positions. However, these spacing constraints can be neglected once 95 percent of the individuals, or 48 out of 50, have been positioned in a block in accordance with the established constraints. Each block extends over 10 rows and 5 columns (individuals per row). Figure 2 shows how individuals are positioned in the orchard.

Example 2

Creation of a single-tenant seed orchard

In the following example, the orchard has a single tenant. It comprises 71 clones represented by varying numbers of ramets. The required minimum spacing between two ramets of the same clone is equal to three times the distance between adjacent orthogonal positions. To favor outcrossing, we have selected 3 as the number of times specific clones can be neighbors, for example clones 10 and 11. The orchard is composed of 18 rows and 20 columns, for a total of 360 ramets. To facilitate identification of clones, they were assigned numbers to permit generation of printouts like the one reproduced on pages 12 and 13. The layout of the single-tenant seed orchard is shown in Figure 3.

```
 @MIMOSOL
>;
>; THE MIMOSOL PROGRAM IS USED TO CREATE SEED ORCHARDS
>; WITH 2 TO 4 HIERARCHICAL LEVELS
>;
>; 1- SEED ORCHARD WITH 2 LEVELS
>; 2- SEED ORCHARD WITH 3 LEVELS
>; 3- SEED ORCHARD WITH 4 LEVELS
>;
>* PLEASE SELECT NUMBER OF LEVELS ? [S]: 2
>RUN ORC2
GIVE A NUMBER BETWEEN 0 AND 32767 :
15254
WHAT IS THE STRUCTURE OF THE SEED ORCHARD
USE A COMMA AS SEPARATOR :
FAMILIES,SEEDLINGS
WHAT IS THE NUMBER OF : FAMILIES
50
WHAT IS THE NUMBER OF : SEEDLINGS
4
IS THE MINIMUM SPACING THE SAME FOR ALL  " FAMIL "?
YES
WHAT IS THIS SPACING ?
3.0
DO YOU WISH TO FAVOR OUTCROSSING BY CONTROLLING NEIGHBORHOOD ?
NO
GIVE THE NUMBER OF ROWS AND COLUMNS IN THE SEED ORCHARD :
20 10
WHAT IS THE NUMBER OF ROWS PER BLOCK AND THE DISTANCE BETWEEN " SEEDL " :
10 5.0
WHAT PERCENTAGE OF THE INDIVIDUALS MAKING UP A BLOCK
UST BE POSITIONED BEFORE SPACING CONSTRAINTS
MAY BE NEGLECTED ?
95
```


F 24 F 31 F 49 F 18 F 28
F 22 F 36 F 40 F 7 F 50
F 43 F 27 F 2 F 37 F 8
F 5 F 33 F 35 F 41 F 39
F 45 F 34 F 32 F 48 F 6
F 23 F 16 F 9 F 11 F 26
F 25 F 38 F 29 F 15 F 21
F 42 F 17 F 19 F 40 F 30
F 20 F 1 F 4 F 10 F 3
F 12 F 47 F 44 F 14 F 13
2
F 37 F 10 F 43 F 17 F 49
F 36 F 19 F 31 F 32 F 38
F 7 F 24 F 5 F 16 F 47
F 8 F 30 F 21 F 42 F 44
F 6 F 20 F 34 F 23 F 50
F 4 F 16 F 25 F 12 F 35
F 46 F 13 F 41 F 11 F 1
F 29 F 27 F 26 F 40 F 39
F 48 F 33 F 14 F 22 F 9
F 2 F 28 F 15 F 45 F 3
4

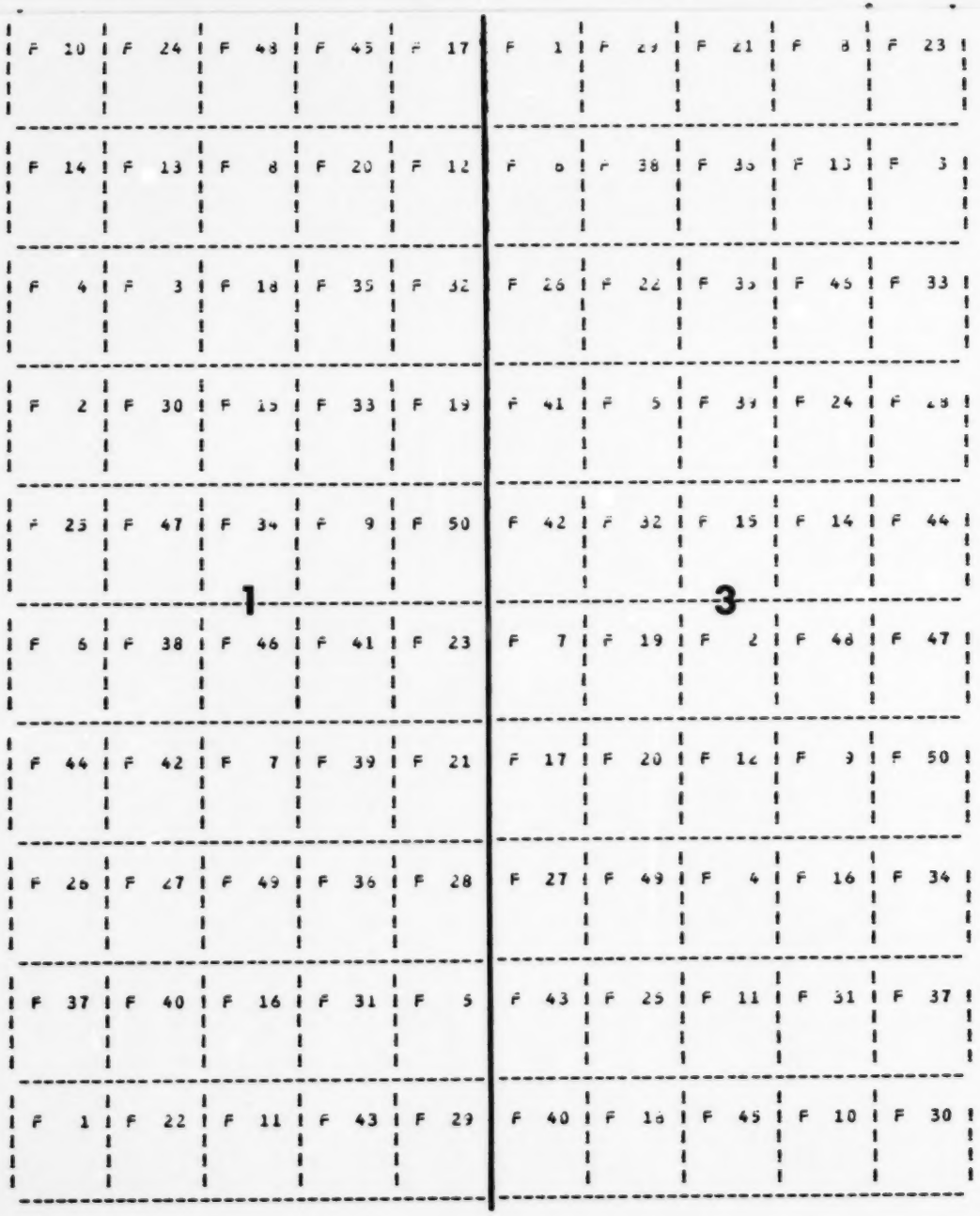


Figure 2. Schematic drawing of block layout within the orchard.

```
 @MIMOSOL
>;
>; THE MIMOSOL PROGRAM IS USED TO CREATE SEED ORCHARDS
>; WITH 2 TO 4 HIERARCHICAL LEVELS
>;
>; 1- SEED ORCHARD WITH 2 LEVELS
>; 2- SEED ORCHARD WITH 3 LEVELS
>; 3- SEED ORCHARD WITH 4 LEVELS
>;
>* PLEASE SELECT NUMBER OF LEVELS ? [S]: 3
>RUN ORC3
GIVE A NUMBER BETWEEN Ø AND 32767 :
6712
WHAT IS THE STRUCTURE OF THE SEED ORCHARD
USE A COMMA AS SEPARATOR :
CLONES,RAMETS,BLOCK
WHAT IS THE NUMBER OF : CLONES
71
IS THE NUMBER OF " RAMET " THE SAME FOR ALL " CLONE "
NO
WHAT IS THE NUMBER OF " RAMET " IN " CLONE "    1
6
WHAT IS THE NUMBER OF " RAMET " IN " CLONE "    2
1
WHAT IS THE NUMBER OF " RAMET " IN " CLONE "    3
3
WHAT IS THE NUMBER OF " RAMET " IN " CLONE "    4
4
WHAT IS THE NUMBER OF " RAMET " IN " CLONE "    5
6
WHAT IS THE NUMBER OF " RAMET " IN " CLONE "    6
6
WHAT IS THE NUMBER OF " RAMET " IN " CLONE "    7
1
WHAT IS THE NUMBER OF " RAMET " IN " CLONE "    8
6
WHAT IS THE NUMBER OF " RAMET " IN " CLONE "    9
3
WHAT IS THE NUMBER OF " RAMET " IN " CLONE "   1Ø
6
WHAT IS THE NUMBER OF " RAMET " IN " CLONE "   11
6
WHAT IS THE NUMBER OF " RAMET " IN " CLONE "   12
2
WHAT IS THE NUMBER OF " RAMET " IN " CLONE "   13
5
WHAT IS THE NUMBER OF " RAMET " IN " CLONE "   14
6
WHAT IS THE NUMBER OF " RAMET " IN " CLONE "   15
6
WHAT IS THE NUMBER OF " RAMET " IN " CLONE "   16
2
WHAT IS THE NUMBER OF " RAMET " IN " CLONE "   17
6
```

```
WHAT IS THE NUMBER OF " RAMET " IN " CLONE "   69
6
WHAT IS THE NUMBER OF " RAMET " IN " CLONE "   70
5
WHAT IS THE NUMBER OF " RAMET " IN " CLONE "   71
6
DATA IN MEMORY :
      6      1      3      4      6      6      1      6      3      6
      6      2      5      6      6      2      6      6      2      1
      6      4      3      4      1      6      6      6      6      6
      6      6      6      6      6      5      6      6      6      6
      6      4      6      6      6      6      6      6      6      6
      1      6      6      5      6      6      6      6      6      6
      6      3      6      5      6      6      6      2      6      5
      6
IS THIS OK ?
YES
IS THE MINIMUM SPACING THE SAME FOR ALL  " CLONE " ?
YES
WHAT IS THIS SPACING ?
3.0
WHAT IS THE NUMBER OF : BLOCK
1
IS THE MINIMUM SPACING THE SAME FOR ALL  " RAMET " ?
YES
WHAT IS THIS SPACING ?
3.0
DO YOU WISH TO POSITION SOME " CLONE " ON PRIORITY BASIS
NO
DO YOU WISH  TO FAVOR OUTCROSSING
BY CONTROLLING NEIGHBORHOOD ?
YES
WHAT IS THE MAXIMUM NUMBER OF TIMES THAT 2 INDIVIDUALS
OF GIVEN PEDIGREES CAN BE NEIGHBORS ?
3
GIVE THE NUMBER OF ROWS AND COLUMNS IN THE SEED ORCHARD :
18 20
WHAT IS THE NUMBER OF ROWS PER BLOCK AND THE DISTANCE BETWEEN " RAMET " :
18 5.2
WHAT PERCENTAGE OF THE INDIVIDUALS MAKING UP A BLOCK
MUST BE POSITIONED BEFORE SPACING CONSTRAINTS
MAY BE NEGLECTED ?
100
```

BLOC : 1

14-I	13-I	13-I	13-I	14-I	14-I	13-I	14-I	14-I	13-I	14-I	14-I	14-I	13-I	14-I	14-I	14-I	13-I	14-I	14-I
3871	7971	7691	8071	3051	4741	7891	3101	3781	8551	3471	3081	4711	8061	3421	3201	3821	8331	4871	3131
14-I	14-I	14-I	13-I	14-I	13-I	14-I	13-I	14-I	13-I	14-I	13-I	14-I	14-I	14-I	14-I	14-I	14-I	14-I	13-I
3491	3121	4681	8241	3421	8171	3931	8201	3901	8171	3801	7741	5021	3371	3051	3021	3101	3931	3121	8091
14-I	14-I	14-I	14-I	13-I	14-I	14-I	14-I	14-I	14-I	14-I	13-I	14-I	13-I	14-I	13-I	14-I	14-I	14-I	14-I
4881	3641	4961	3251	8551	3811	4801	3551	4711	5001	3771	8201	4871	7971	3271	7711	3081	4711	5021	3141
14-I	14-I	14-I	14-I	13-I	13-I	13-I	14-I	14-I	14-I	14-I	14-I	14-I	14-I	14-I	14-I	14-I	14-I	13-I	14-I
3211	3941	3931	4871	8411	8221	8331	3471	3211	3391	3491	3021	3871	4741	5001	3221	3441	3211	8161	3471
13-I	14-I	14-I	14-I	13-I	14-I	14-I	13-I	14-I	14-I	13-I	13-I	14-I	14-I	14-I	13-I	14-I	14-I	13-I	13-I
8331	3141	3471	3271	8421	3771	3941	7971	3101	3201	8421	7831	3781	3201	3351	8171	4871	4741	4721	8371
13-I	13-I	14-I	14-I	14-I	14-I	14-I	14-I	14-I	13-I	13-I	14-I	13-I	14-I	13-I	14-I	13-I	14-I	14-I	14-I
8371	8091	3071	4721	3441	3901	4681	3351	4651	7711	7841	3371	7691	3841	4721	3931	8221	4721	4961	3081
14-I	14-I	13-I	13-I	14-I	13-I	13-I	14-I	14-I	14-I	13-I	14-I	14-I	14-I	14-I	14-I	13-I	14-I	14-I	14-I
3201	3331	7831	8061	4741	8091	4721	3811	3841	3421	8171	3221	3131	3811	3121	3251	7741	3841	4681	3121
14-I	14-I	14-I	14-I	14-I	14-I	14-I	13-I	13-I	14-I	14-I	14-I	14-I	14-I	13-I	14-I	13-I	14-I	14-I	14-I
3081	4651	4681	3391	3221	3821	3011	8421	8371	4801	4871	4961	3641	3471	8201	3021	7831	4711	3131	3051
14-I	14-I	14-I	14-I	13-I	14-I	14-I	13-I	13-I	14-I	14-I	14-I	14-I	14-I	14-I	13-I	14-I	14-I	14-I	13-I
3351	3271	3371	5021	7841	3071	3271	8061	7691	3901	5001	4711	3931	3801	4801	8061	3201	3551	3441	8201

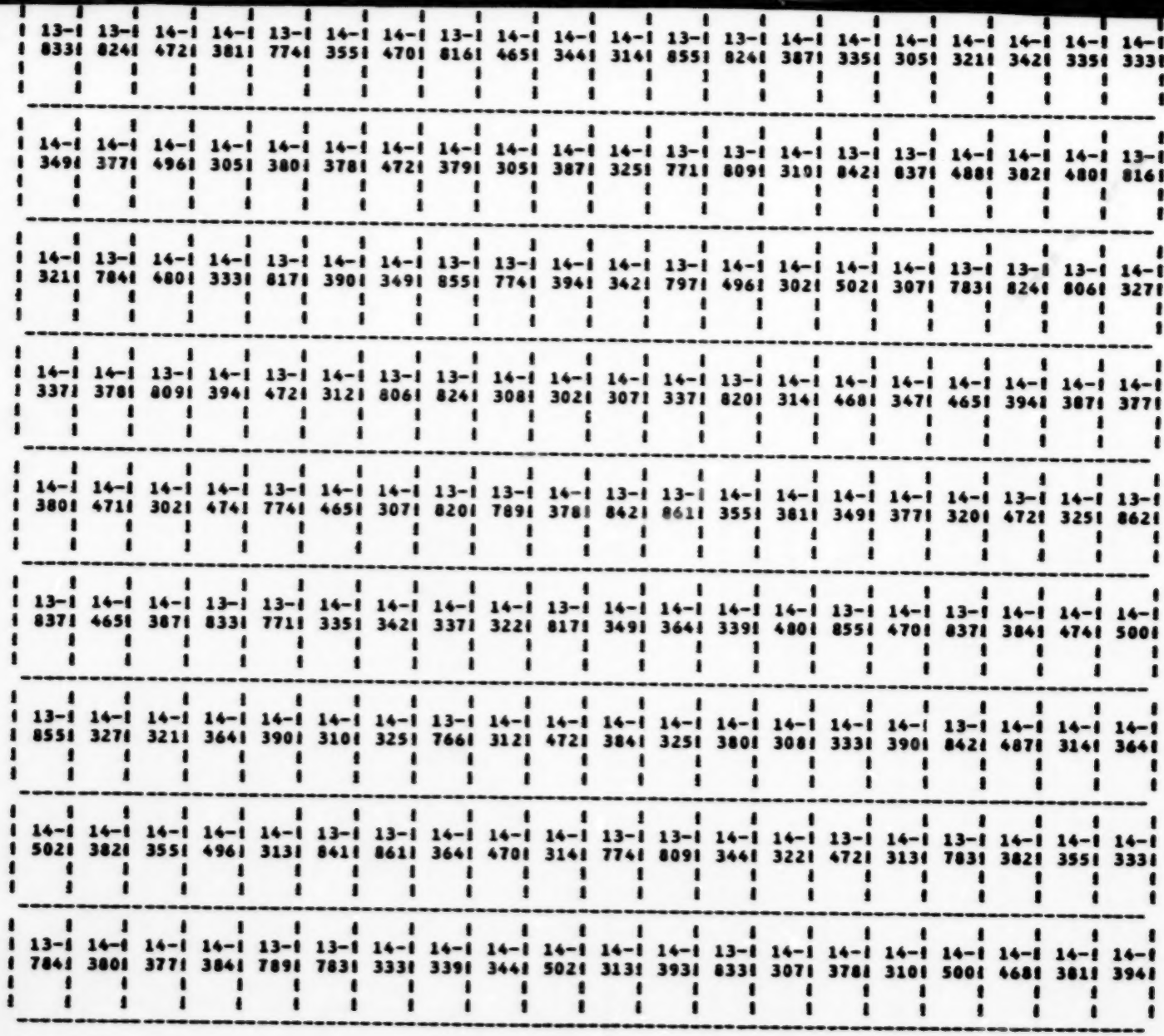


Figure 3. The layout of the single-tenant seed orchard.

REFERENCES

Beaudoin, R.; Desaulniers, G. 1980. Méthode de distribution des familles dans un test génétique pour l'amélioration et la production de semences du pin gris. Gouv. Québec, MER, Serv. Rech. For., Mémoire 65. 45 p.

Bell, G.D.; Fletcher, A.M. 1978. Computer organized orchard layouts (COOL) based on the permutated neighborhood design concept. Silvae Genetica 27(6):223-225.

Canadian Forestry Association. 1977. Tomorrow's Forests... Today's Challenge? *in* Proceedings, National Forest Regeneration Conference. Quebec, October 19-21, 1977. 244 p.

Giertych, M. 1975. Seed Orchard Designs. *in* Seed Orchards (ed. R. Faulkner) For. Comm. London, 54:25-37.

Nanson, A. 1985. The evolving seed orchard: A new type. IUFRO Congress, W.P. S2.02.11 Norway spruce provenances, Vienna, Austria, June 9-15, 1985.

Science Council of Canada. 1983. Canada's Threatened Forests: A Statement by the Science Council. 17 p.

Gouvernement du Canada
Service canadien des forêts

Government of Canada
Canadian Forestry Service

MIMOSOL

J. Beaulieu, A. Corriveau, G. Daoust

Rapport d'information LAU-X-69
Centre de foresterie des Laurentides

CENTRE DE FORESTERIE DES LAURENTIDES

Le Centre de foresterie des Laurentides (CFL) est un des six établissements régionaux du Service canadien des forêts (SCF). Le Centre poursuit des travaux de recherche et de développement pour un aménagement et une utilisation plus rationnels des ressources forestières du Québec. En collaboration avec divers groupes et organismes québécois, les chercheurs du CFL visent à acquérir une meilleure compréhension du fonctionnement des écosystèmes forestiers en vue de contribuer à solutionner les problèmes majeurs en foresterie au Québec et à développer des méthodes acceptables pour l'amélioration et la sauvegarde de l'environnement forestier.

Au Québec, les activités du SCF portent sur trois éléments majeurs: la recherche dans le domaine des ressources forestières, la recherche dans le domaine de la protection et enfin, le développement forestier. La plupart des travaux sont entrepris pour répondre aux besoins des organismes intéressés à l'aménagement forestier, surtout dans le but d'améliorer la protection, la croissance et la qualité de la ressource forestière de la région. L'information est diffusée sous forme de rapports scientifiques, de feuillets techniques ou autres publications dans le but d'atteindre toutes les catégories d'utilisateurs des résultats de recherche.

LAURENTIAN FORESTRY CENTRE

The Laurentian Forestry Centre (LFC) is one of six regional establishments of the Canadian Forestry Service (CFS). The Centre's objective is to promote, through research and development, the most efficient and rational management and use of Quebec's forest. In cooperation with several Quebec agencies, scientists at LFC seek to acquire a better understanding of how the forest ecosystem works with a view to solving major forestry problems and develop methods to improve and to protect the forest environment.

In the province of Quebec, CFS's program consists of three major elements: forest resources research, forest protection research, and forest development. Most of the research is undertaken in response to the needs of forest management agencies, with the aim of improving the protection, growth, and quality of the region's forest resource. The results of this research are distributed to potential users through scientific and technical reports and other publications.

MIMOSOL - Programme informatique interactif pour la réalisation de plans de vergers à graines réduisant l'inbreeding et favorisant l'hétérofécondation

J. Beaulieu
A. Corriveau
G. Daoust

Rapport d'information LAU-X-69

1985

Centre de foresterie des Laurentides
Service canadien des forêts

Des exemplaires vous sont offerts gratuitement au:

Centre de foresterie des Laurentides
Service canadien des forêts
1055, rue du P.E.P.S.
C.P. 3800
Sainte-Foy (Québec)
G1V 4C7

N° de catalogue Fo46-18/69F
ISSN 0703-2196
ISBN 0-662-93527-6

© Ministère des Approvisionnements et Services Canada, 1985

Also available in English under the title: "MIMOSOL - Interactive computer program for minimum inbreeding and maximum outcrossing seed orchard layouts."

TABLE DES MATIÈRES

Page

RÉSUMÉ v

ABSTRACT vi

INTRODUCTION 1

MÉTHODES 2
- Catégories de plans de vergers à graines 2
- Positionnement des individus dans le verger 2
- Priorité de génotypes particuliers 3

DESCRIPTION DU PROGRAMME 4
- Indépendance de la machine 4
- Flexibilité 4
- Capacité maximale de traitement 8

EXEMPLES D'UTILISATION 8
- Création d'un plan de verger à graines à blocs complets 8
- Création d'un plan de verger à graines d'un seul tenant 8

RÉFÉRENCES 16

RÉSUMÉ

MIMOSOL est un programme informatique interactif qui facilitera considérablement la tâche de l'améliorateur forestier lors de la réalisation de plans de vergers à graines. Le programme MIMOSOL sera d'une grande utilité aussi bien lors de l'élaboration de plans de vergers à graines clonaux que de celle de plans de vergers à graines de semis. Les plans de vergers pourront être composés de blocs égaux complets ou être d'un seul tenant.

MIMOSOL a pour qualité première de permettre la réalisation de plans de vergers à graines dans lesquels l'inbreeding est minimisé et l'hétérofécondation favorisée, assurant ainsi une meilleure qualité génétique de la semence produite. Pour ce faire, MIMOSOL tient compte, lors du positionnement de chaque individu, de sa ligne hiérarchique d'appartenance à un groupe particulier ainsi que de contraintes d'espacement préétablies. Le caractère interactif du programme informatique MIMOSOL le rend accessible et attrayant, même pour celui que l'ordinateur rebute.

Note: Une copie du programme MIMOSOL peut être obtenue en en faisant la demande auprès des auteurs.

ABSTRACT

MIMOSOL is an interactive computer program that will make the tree breeder's seed orchard design task considerably easier. The program will be very useful in the design of both clonal and seedling orchards. Orchard layouts can accommodate complete blocks of equal size or a single tenant.

The primary feature of the MIMOSOL program is that seed orchard layouts can be created minimizing inbreeding and favoring outcrossing, thus producing seed of improved genetic quality. The program takes into account each individual's place in the hierarchy of a specific group and preestablished spacing constraints when the individual is positioned. The interactive nature of the MIMOSOL program makes it easy and attractive to use, even for people with limited computer experience.

Note: Copies of the MIMOSOL program may be obtained on request from the authors.

INTRODUCTION

Depuis plusieurs années déjà, des cris d'alarme sont lancés à travers le Canada afin que des correctifs soient apportés au problème aigu d'insuffisance de régénération naturelle des sites forestiers exploités ou brûlés (Association forestière canadienne, 1977; Conseil des Sciences du Canada, 1983). Une des voies envisagées pour corriger cette situation est la régénération artificielle. Cet impératif présume d'un approvisionnement adéquat et soutenu en semences de qualité. Dans cette optique, de nombreux vergers à graines sont mis en place. Ceux-ci peuvent être établis selon divers plans (Giertych, 1975; Bell et Fletcher, 1978; Beaudoin et Desaulniers, 1980; Nanson, 1985). Plusieurs critères guident le choix du plan du verger. Les deux principaux sont la minimisation de l'inbreeding et l'encouragement à l'hétérofécondation.

Le programme informatique MIMOSOL a été développé dans le but de répondre à ces exigences en tenant compte, lors du positionnement des individus constituant un verger à graines, des liens variables de parenté qui existent entre eux.

Son utilisation permettra de réduire grandement la difficulté de réalisation de plans adéquats de vergers à graines sans l'apport de l'outil informatique. L'interactivité du programme rend son utilisation facile même pour les moins bien initiés à l'informatique.

MÉTHODES

Catégories de plans de vergers à graines

Les plans de vergers à graines, qu'ils soient clonaux ou de semis, réalisables à l'aide de MIMOSOL peuvent être de deux catégories. Dans la première catégorie se retrouvent les plans de vergers à graines à blocs complets égaux. Chaque bloc ne compte qu'un seul représentant de chaque groupe (clone ou famille). Le nombre de blocs varie en fonction des besoins de l'utilisateur.

La deuxième catégorie rassemble des vergers réunissant un nombre quelconque d'individus en un seul bloc. Dans ce cas, le nombre d'individus représentant un groupe quelconque (clone ou famille) peut être variable d'un groupe à l'autre. L'utilisation du programme MIMOSOL en vue de développer de tels plans de vergers à graines reflète le désir d'inclure dans le verger tout le matériel (ramets ou semis) disponible.

Notons que la famille, dans le cas d'un verger à graines de semis, peut également être considérée comme l'élément de base du verger et être représentée par un nombre constant de plein-frères ou de demi-frères occupant une position particulière dans le verger. Ceci permet, lors d'éclaircies génétiques subséquentes, de pratiquer une sélection intra-familiale à la suite de laquelle un seul représentant de chaque famille est conservé à chaque position.

Positionnement des individus dans le verger

La position qu'occupera un individu quelconque dans le verger est d'abord choisie au hasard. Ce hasard est ensuite conditionné par un certain nombre de contraintes permettant à la fois de minimiser l'inbreeding et d'encourager l'hétérofécondation.

L'inbreeding ne peut être contrôlé efficacement qu'à la condition que soient connus les liens de parenté existant entre les individus qui constitueront le verger. Ceux possédant les liens les plus étroits doivent être

les plus éloignés les uns des autres, alors que les individus n'ayant aucun lien de parenté peuvent être voisins. MIMOSOL est en mesure de tenir compte de un à trois niveaux hiérarchiques en plus du niveau constitué par le ou les blocs. Mentionnons celui de l'appartenance à un même clone ou famille, à une même population ou provenance et à une même région de provenance. Afin de minimiser l'inbreeding, des contraintes d'espacement minimal, fonction des liens de parenté entre les individus, sont appliquées. Plus les liens de parenté sont forts, plus les contraintes d'espacement minimal sont sévères. Ainsi, les individus membres de clones ou familles d'une même population doivent être plus espacés que ceux de populations différentes même s'ils sont originaires d'une même région de provenance.

En limitant le nombre de fois où deux individus de pedigree particulier occupent des positions adjacentes ou rapprochées, il est possible de favoriser l'hétérofécondation. Plus le nombre désiré de croisements différents sera grand, plus il faudra restreindre le nombre de fois où un voisinage déterminé se produira, c'est-à-dire où des individus de pedigree donné, soit x et y, seront voisins ou proches voisins, les échanges géniques étant entre autres fonction de la distance séparant les individus.

Priorité de génotypes particuliers

Il arrive fréquemment que lors de la réalisation d'un plan de verger à graines on désire donner la priorité à un ou plusieurs génotypes en augmentant leur représentation numérique. Cette situation peut être encouragée par la qualité génétique supérieure d'un génotype ou d'une population. Dans ce cas, il est souhaitable de développer le plan du verger à graines en s'appuyant principalement sur ces derniers. Le programme MIMOSOL peut tenir compte d'une telle situation. Pour ce faire, il positionne en premier lieu le ou les groupes favorisés sur la base de leur origine. Lorsque ceux-ci sont positionnés, la distribution aléatoire, soumise aux contraintes d'espacement minimal, est à nouveau utilisée pour allouer les positions à être occupées par les autres membres du verger.

DESCRIPTION DU PROGRAMME

Indépendance de la machine

Le programme MIMOSOL a été écrit en langage FORTRAN IV PLUS. Il a été implanté et testé sur un mini-ordinateur PDP11/44 de Digital Equipment Corporation, propriété du Service canadien des forêts au Centre de foresterie des Laurentides. Comme cet ordinateur n'offre qu'une mémoire centrale limitée (64 kilo-octets), le nombre de positions permises par bloc est limité. Toutefois, dans un environnement de plus forte puissance, le programme pourrait tenir compte d'un nombre de semenciers beaucoup plus grand. Il suffirait alors de modifier les dimensions de certaines matrices et d'augmenter la dimension du tampon d'entrée-sortie.

Flexibilité

Le programme MIMOSOL est interactif. Ainsi, lorsqu'un utilisateur l'exécute, il est invité, par une série de questions, à fournir un certain nombre de paramètres et de réponses affirmatives ou négatives. Les questions réfèrent aux différents éléments décrits dans la section 2.

Dans un premier temps, l'utilisateur est invité à indiquer la structure du verger ou la ligne hiérarchique et les contraintes d'espacement minimal liées à chaque niveau. Les termes utilisés pour décrire cette structure sont laissés à la discrétion de l'utilisateur. Ainsi, ce dernier peut créer le plan d'un verger clonal ou d'un verger de familles.

```
MIMOSOL> DONNEZ LA STRUCTURE DU VERGER:
UTILISATEUR > POPULATION, FAMILLE, INDIVIDU
```

Dans l'exemple qui suit, l'utilisateur indique au programme MIMOSOL que le verger à graines sera composé d'un certain nombre de populations représentées par des familles et que chaque famille sera représentée à son tour par un nombre quelconque d'individus égal au nombre de blocs (figure 1).

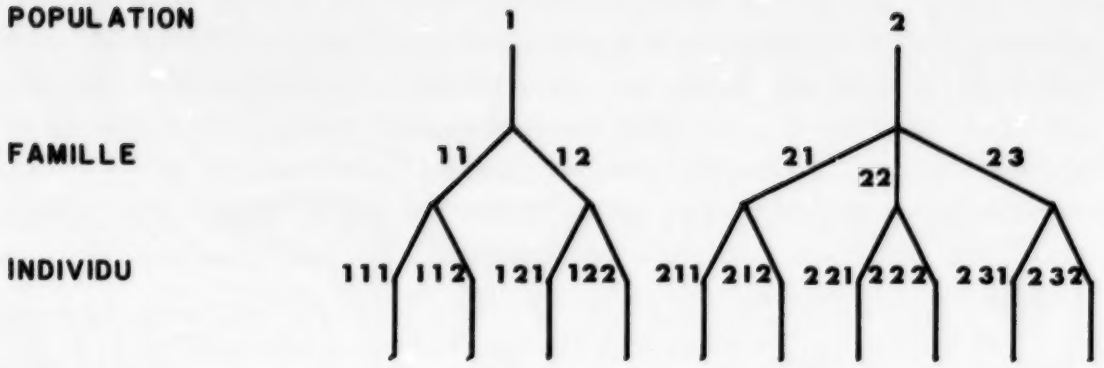


Figure 1. Schéma de la structure du verger.

En suivant la structure fournie, le programme MIMOSOL demande pour chaque niveau hiérarchique, le nombre d'embranchements qui en partent ainsi que les contraintes d'espacement minimal (n distance ortogonale entre deux positions adjacentes) qui leur sont associées.

```
MIMOSOL> DONNEZ LE NOMBRE DE : POPULATION
UTILISATEUR> 2
MIMOSOL> LE NOMBRE DE 'FAMIL' EST-IL LE MÊME POUR TOUS LES 'POPUL'?
UTILISATEUR> NON
MIMOSOL> QUEL EST LE NOMBRE DE 'FAMIL' DANS 'POPUL' 1
UTILISATEUR> 2
MIMOSOL> QUEL EST LE NOMBRE DE 'FAMIL' DANS 'POPUL' 2
UTILISATEUR> 3
MIMOSOL> L'ESPACEMENT MINIMAL EST-IL LE MÊME POUR TOUS LES 'POPUL'?
UTILISATEUR> OUI
MIMOSOL> QUEL EST CET ESPACEMENT?
UTILISATEUR> 3
MIMOSOL> DONNEZ LE NOMBRE DE : INDIVIDU
UTILISATEUR> 2
MIMOSOL> L'ESPACEMENT MINIMAL EST-IL LE MÊME POUR TOUS LES 'FAMIL'
UTILISATEUR> OUI
MIMOSOL> QUEL EST CET ESPACEMENT?
UTILISATEUR> 4
```

Dans l'exemple de la page 5, l'espacement minimal a été établi de valeur égale pour chaque branche issue des noeuds situés sur un même niveau hiérarchique. Toutefois, cet espacement peut varier. L'espacement minimal indiqué à la question se rapportant aux populations s'applique également aux individus appartenant à une même population, mais issus de familles différentes. Quant à l'espacement minimal indiqué à la question se rapportant aux familles, il s'applique également aux individus formant une famille quelconque et il s'appliquera entre les blocs dans cet exemple puisque les familles ne sont représentées que par un individu par bloc.

Par la suite, l'utilisateur doit indiquer au programme s'il désire donner priorité à certains groupes en ce qui regarde leur positionnement. Il lui suffit d'indiquer les numéros de ces groupes.

```
MIMOSOL> DÉSIREZ-VOUS POSITIONNER EN PRIORITÉ DES "POPUL"
UTILISATEUR> OUI
MIMOSOL> COMBIEN DE "POPUL" DÉSIREZ-VOUS POSITIONNER EN PRIORITÉ, MAXIMUM
         6?
UTILISATEUR> 1
MIMOSOL> DONNEZ LA LISTE DES NUMÉROS POSITIONNÉS EN PRIORITÉ
UTILISATEUR> 2
```

À ce moment précis, l'utilisateur est invité à fournir les dimensions physiques du verger à graines. Les premiers paramètres exigés sont le nombre de lignes (rangées d'arbres) dans le verger à graines, ainsi que le nombre de colonnes (individus par rangée). La forme que prend le verger doit être rectangulaire, naturellement, le carré étant une forme particulière du rectangle. Le nombre de rangées qu'occupe un bloc et la distance entre deux positions adjacentes orthogonales doivent être indiqués par la suite. Le nombre d'individus par rangée dans un bloc est calculé par le programme.

```
MIMOSOL> DONNEZ LE NOMBRE DE LIGNES ET DE COLONNES DANS LE VERGER:
UTILISATEUR> 2 5
MIMOSOL> DONNEZ LE NOMBRE DE LIGNES DANS UN BLOC ET LA DISTANCE ENTRE LES
         INDIVIDUS:
UTILISATEUR> 2 4
```

Afin de favoriser l'hétérofécondation, le programme MIMOSOL, comme indiqué dans la section méthode, peut également contraindre le voisinage. Pour ce faire, l'utilisateur doit simplement lui indiquer le nombre maximum de fois où deux individus de pedigree particulier pourront être voisins immédiats dans l'ensemble du verger à graines.

```
MIMOSOL> DÉSIREZ-VOUS FAVORISER L'HÉTÉROFÉCONDATION EN CONTRAIGNANT LE
         VOISINAGE?
UTILISATEUR> OUI
MIMOSOL> QUEL EST LE NOMBRE DE FOIS OÙ DEUX INDIVIDUS DE PEDIGREE
         PARTICULIER POURRONT ÊTRE VOISINS IMMÉDIATS?
UTILISATEUR> 2
```

Finalement, l'utilisateur peut indiquer au programme MIMOSOL de positionner les individus sans tenir compte des contraintes d'espacement minimal liées aux niveaux hiérarchiques. Ce dernier cas peut être voulu par l'utilisateur qui préfère fixer des contraintes d'espacement minimal élevées pour la majorité des individus à positionner, quitte à laisser tomber toute forme de contraintes pour un faible pourcentage d'entre eux.

```
MIMOSOL> DONNEZ LE POURCENTAGE DU NOMBRE D'INDIVIDUS FORMANT UN BLOC À
         PARTIR DUQUEL LES CONTRAINTES D'ESPACEMENT PEUVENT ÊTRE NÉGLIGÉES
UTILISATEUR> 95
```

Le plan du verger qui en résulte peut ne pas être optimal si cette situation se confirme, mais il peut toutefois être satisfaisant. Dans le cas où l'utilisateur, après un examen attentif du plan, trouve ce dernier insatisfaisant, il peut réexécuter le programme MIMOSOL en réduisant les contraintes d'espacement minimal.

Capacité maximale de traitement

La limite actuelle du programme MIMOSOL a été fixée à 900 positions par bloc. Toutefois, cette limite n'est pas absolue. Elle peut être facilement augmentée grâce à quelques modifications mineures du programme.

EXEMPLES D'UTILISATION

Exemple 1

Création d'un plan de verger à graines à blocs complets

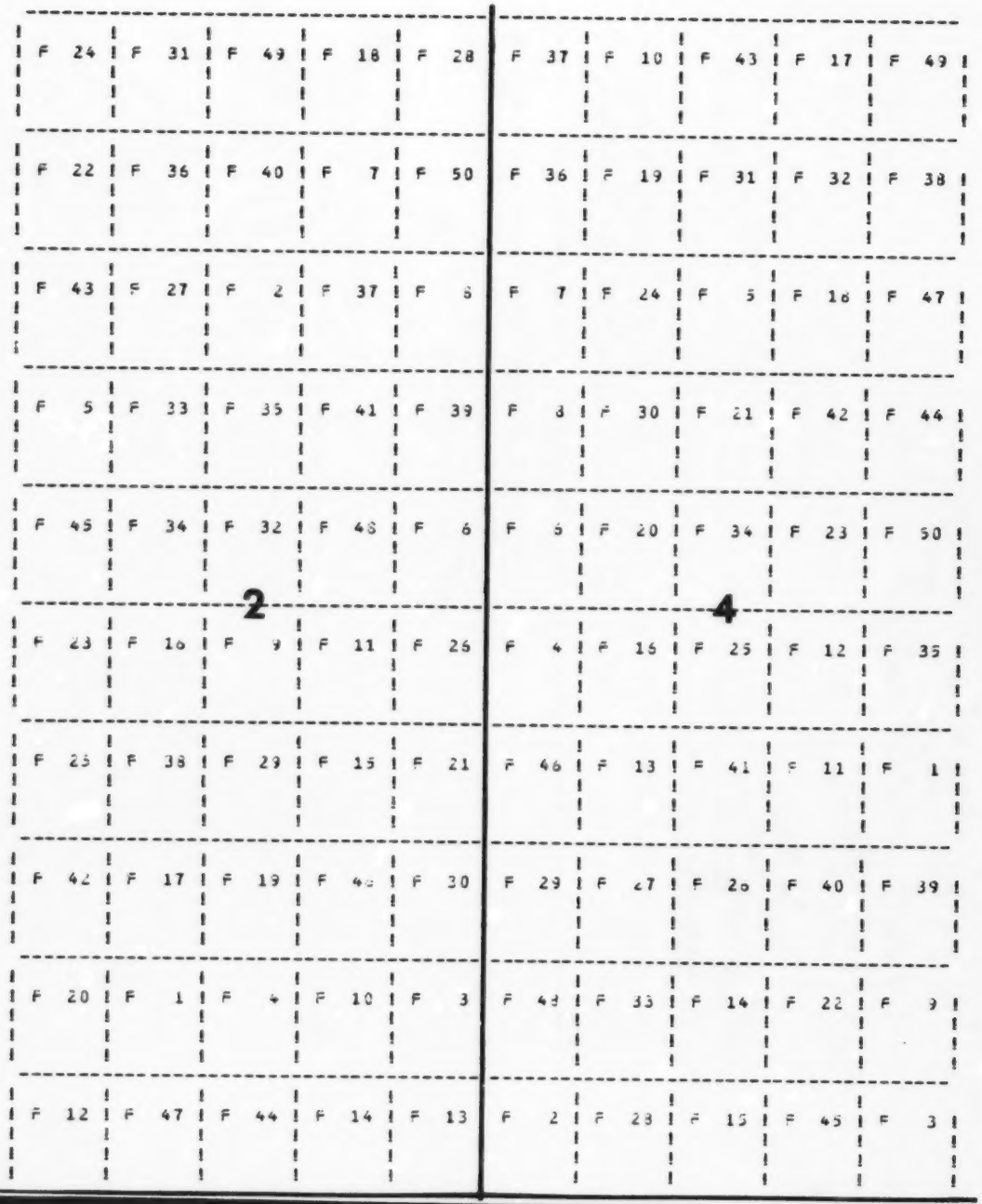
Le plan du verger à graines présenté ici est composé de quatre blocs complets dont chacun contient un représentant de 50 familles. L'espacement entre les individus d'une même famille est d'au moins trois fois la distance orthogonale existant entre deux positions adjacentes. Toutefois, ces contraintes d'espacement peuvent être négligées lorsque 95 % des 50 individus ou 48 individus ont trouvé place dans un bloc en respectant les contraintes préétablies. Chaque bloc s'étend sur 10 lignes (rangées) et 5 colonnes (individus par rangée). La figure 2 indique l'emplacement des individus dans le verger.

Exemple 2

Création d'un plan de verger à graines d'un seul tenant

Dans l'exemple ci-dessous, le verger est d'un seul tenant. Il est constitué de 71 clones représentés par des nombres variables de ramets. L'espacement minimal exigé entre deux ramets d'un même clone est égal à trois fois la distance entre deux positions adjacentes orthogonales. Dans le but de favoriser l'hétérofécondation, nous avons fixé à trois le nombre de fois où des clones particuliers, tels que les clones 10 et 11, pourront être des voisins immédiats. Le verger à graines est composé de 18 lignes et de 20 colonnes pour un total de 360 ramets. Dans le but de faciliter l'identification des clones, des numéros leur ont été assignés, permettant l'impression telle qu'elle apparaît ci-dessous. Le plan d'un verger à graines d'un seul tenant est présenté à la figure 3.

```
 @MIMOSOL
>;
>; LE PROGRAMME MIMOSOL SERT À CRÉER TROIS TYPES
>; DE VERGERS À GRAINES , SOIT :
>;
>; 1- VERGER À 2 NIVEAUX (INCLUANT LE NIVEAU BLOC)
>; 2- VERGER À 3 NIVEAUX                '
>; 3- VERGER À 4 NIVEAUX                '
>;
>* QUEL EST LE NOMBRE DE NIVEAUX DE VOTRE VERGER ? [S]: 2
>RUN VER2
DONNEZ UN CHIFFRE ENTRE 0 ET 32767 :
15254
 DONNEZ LA STRUCTURE DU VERGER : FAMILLES,RÉPÉTITIONS
DONNEZ LE NOMBRE DE : FAMILLES
50
DONNEZ LE NOMBRE DE : RÉPÉTITIONS
4
L'ESPACEMENT MINIMAL EST-IL LE MÊME POUR TOUS LES " FAMIL "?
OUI
QUEL EST CET ESPACEMENT ?
3.0
DÉSIREZ-VOUS FAVORISER L'HÉTÉROFÉCONDATION EN CONTRAIGNANT LE VOISINAGE ?
NON
DONNEZ LE NOMBRE DE LIGNES ET DE COLONNES DANS LE VERGER :
20 10
DONNEZ LE NOMBRE DE LIGNES DANS " REPET " ET LA DISTANCE ENTRE LES INDIVIDUS :
10 5.0
DONNEZ LE POURCENTAGE DU NOMBRE D'INDIVIDUS
FORMANT UN " REPET " À PARTIR DUQUEL LES CONTRAINTES
D'ESPACEMENT PEUVENT ÊTRE NÉGLIGÉES ?
95
```


F 24 F 31 F 49 F 18 F 28
F 22 F 36 F 40 F 7 F 50
F 43 F 27 F 2 F 37 F 8
F 5 F 33 F 35 F 41 F 39
F 45 F 34 F 32 F 48 F 6
2
F 23 F 16 F 9 F 11 F 26
F 25 F 38 F 29 F 15 F 21
F 42 F 17 F 19 F 4 F 30
F 20 F 1 F 4 F 10 F 3
F 12 F 47 F 44 F 14 F 13
F 37 F 10 F 43 F 17 F 49
F 36 F 19 F 31 F 32 F 38
F 7 F 24 F 5 F 16 F 47
F 8 F 30 F 21 F 42 F 44
F 6 F 20 F 34 F 23 F 50
4
F 4 F 16 F 25 F 12 F 35
F 46 F 13 F 41 F 11 F 1
F 29 F 47 F 26 F 40 F 39
F 49 F 33 F 14 F 22 F 9
F 2 F 28 F 15 F 45 F 3

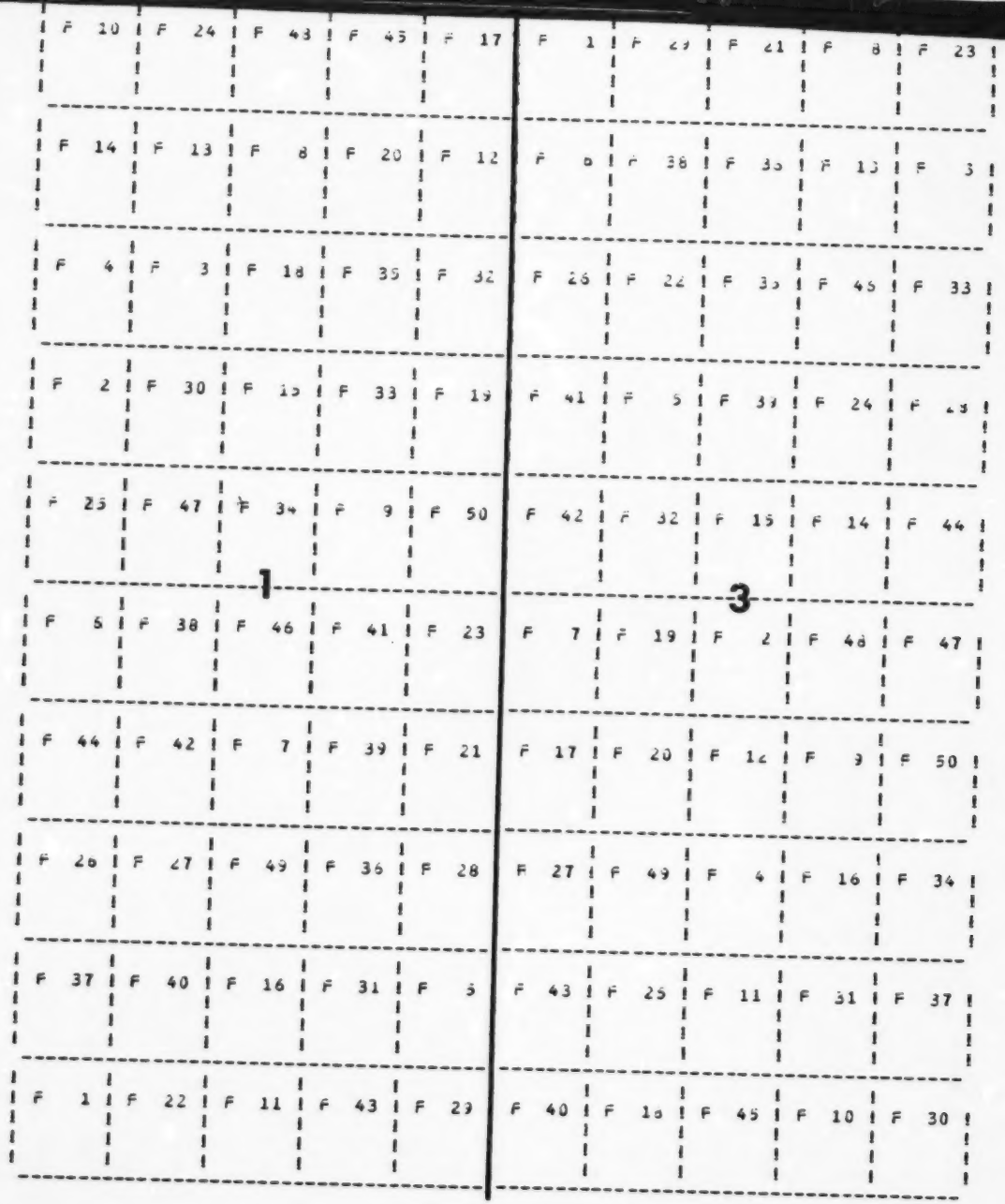


Figure 2. Représentation schématique de l'emplacement des blocs dans le verger.

```
 @MIMOSOLF
>;
>; LE PROGRAMME MIMOSOLF SERT À CRÉER DES VERGERS À GRAINES
>; POSSÉDANT DE 2 À 4 NIVEAUX HIÉRARCHIQUES,SOIT :
>;
>; 1- VERGER À 2 NIVEAUX
>; 2- VERGER À 3 NIVEAUX
>; 3- VERGER À 4 NIVEAUX
>;
>* QUEL EST LE NOMBRE DE NIVEAUX DE VOTRE VERGER ? [S]: 3
>RUN VER3
DONNEZ UN CHIFFRE ENTRE Ø ET 32767 :
6712
 DONNEZ LA STRUCTURE DU VERGER : CLONES,RAMETS,BLOC
DONNEZ LE NOMBRE DE : CLONES
71
LE NOMBRE DE " RAMET " EST-IL LE MÊME POUR TOUS LES " CLONE "
NON
QUEL EST LE NOMBRE DE " RAMET " DANS " CLONE "    1
6
QUEL EST LE NOMBRE DE " RAMET " DANS " CLONE "    2
1
QUEL EST LE NOMBRE DE " RAMET " DANS " CLONE "    3
3
QUEL EST LE NOMBRE DE " RAMET " DANS " CLONE "    4
4
QUEL EST LE NOMBRE DE " RAMET " DANS " CLONE "    5
6
QUEL EST LE NOMBRE DE " RAMET " DANS " CLONE "    6
6
QUEL EST LE NOMBRE DE " RAMET " DANS " CLONE "    7
1
QUEL EST LE NOMBRE DE " RAMET " DANS " CLONE "    8
6
QUEL EST LE NOMBRE DE " RAMET " DANS " CLØNE "    9
3
QUEL EST LE NOMBRE DE " RAMET " DANS " CLONE "   1Ø
6
QUEL EST LE NOMBRE DE " RAMET " DANS " CLONE "   11
6
QUEL EST LE NOMBRE DE " RAMET " DANS " CLONE "   12
2
QUEL EST LE NOMBRE DE " RAMET " DANS " CLONE "   13
5
QUEL EST LE NOMBRE DE " RAMET " DANS " CLONE "   14
6
QUEL EST LE NOMBRE DE " RAMET " DANS " CLONE "   15
6
QUEL EST LE NOMBRE DE " RAMET " DANS " CLONE "   16
2
QUEL EST LE NOMBRE DE " RAMET " DANS " CLONE "   17
6
```

```
QUEL EST LE NOMBRE DE " RAMET " DANS " CLONE "   68
2
QUEL EST LE NOMBRE DE " RAMET " DANS " CLONE "   69
6
QUEL EST LE NOMBRE DE " RAMET " DANS " CLONE "   70
5
QUEL EST LE NOMBRE DE " RAMET " DANS " CLONE "   71
6
DONNÉES INSCRITES EN MÉMOIRE :
      6      1      3      4      6      6      1      6      3      6
      6      2      5      6      6      2      6      6      2      1
      6      4      3      4      1      6      6      6      6      6
      6      6      6      6      6      5      6      6      6      6
      6      4      6      6      6      6      6      6      6      6
      1      6      6      5      6      6      6      6      6      6
      6      3      6      5      6      6      6      2      6      5
      6
EST-CE ACCEPTABLE ?
OUI
L'ESPACEMENT MINIMAL EST-IL LE MÊME POUR TOUS  LES " CLONE " ?
OUI
QUEL EST CET ESPACEMENT ?
3.0
DONNEZ LE NOMBRE DE : BLOC
1
L'ESPACEMENT MINIMAL EST-IL LE MÊME POUR TOUS  LES " RAMET " ?
OUI
QUEL EST CET ESPACEMENT ?
3.0
DÉSIREZ-VOUS POSITIONNER EN PRIORITÉ DES " CLONE "
NON
DÉSIREZ-VOUS FAVORISER L'HÉTÉROFÉCONDATION
EN CONTRAIGNANT LE VOISINAGE ?
OUI
QUEL EST LE NOMBRE DE FOIS QUE DEUX INDIVIDUS
DE PÉDIGREE PARTICULIERS POURRONT ÊTRE VOISINS IMMÉDIATS ?
3
DONNEZ LE NOMBRE DE LIGNES ET DE COLONNES DANS LE VERGER :
18 20
DONNEZ LE NOMBRE DE LIGNES DANS UN BLOC ET LA DISTANCE ENTRE LES " RAMET " :
18 5.2
DONNEZ LE POURCENTAGE DU NOMBRE D'INDIVIDUS
FORMANT UN BLOC , À PARTIR DUQUEL LES CONTRAINTES
D'ESPACEMENT PEUVENT ÊTRE NÉGLIGÉES ?
100
```

BLOC : 1

14-!	13-!	13-!	13-!	14-!	14-!	13-!	14-!	14-!	13-!	14-!	14-!	14-!	13-!	14-!	14-!	14-!	13-!	14-!	14-!
387!	797!	769!	807!	305!	474!	789!	310!	378!	855!	347!	308!	471!	806!	342!	320!	382!	833!	487!	313!
14-!	14-!	14-!	13-!	14-!	13-!	14-!	13-!	14-!	13-!	14-!	13-!	14-!	14-!	14-!	14-!	14-!	14-!	14-!	13-!
349!	312!	468!	824!	342!	817!	393!	820!	390!	817!	380!	774!	502!	337!	305!	302!	310!	393!	312!	809!
14-!	14-!	14-!	14-!	13-!	14-!	14-!	14-!	14-!	14-!	14-!	13-!	14-!	13-!	14-!	13-!	14-!	14-!	14-!	14-!
488!	364!	496!	325!	855!	381!	480!	355!	471!	500!	377!	820!	487!	797!	327!	771!	308!	471!	502!	314!
14-!	14-!	14-!	14-!	13-!	13-!	13-!	14-!	14-!	14-!	14-!	14-!	14-!	14-!	14-!	14-!	14-!	14-!	13-!	14-!
321!	394!	393!	487!	841!	822!	833!	347!	321!	339!	349!	302!	387!	474!	500!	322!	344!	321!	816!	347!
13-!	14-!	14-!	14-!	13-!	14-!	14-!	13-!	14-!	14-!	13-!	13-!	14-!	14-!	14-!	13-!	14-!	14-!	13-!	13-!
833!	314!	347!	327!	842!	377!	394!	797!	310!	320!	842!	783!	378!	320!	335!	817!	487!	474!	472!	837!
13-!	13-!	14-!	14-!	14-!	14-!	14-!	14-!	14-!	13-!	13-!	14-!	13-!	14-!	13-!	14-!	13-!	14-!	14-!	14-!
837!	809!	307!	472!	344!	390!	468!	335!	465!	771!	784!	337!	769!	384!	472!	393!	822!	472!	496!	308!
14-!	14-!	13-!	13-!	14-!	13-!	13-!	14-!	14-!	14-!	13-!	14-!	14-!	14-!	14-!	14-!	13-!	14-!	14-!	14-!
320!	333!	783!	806!	474!	809!	472!	381!	384!	342!	817!	322!	313!	381!	312!	325!	774!	384!	468!	312!
14-!	14-!	14-!	14-!	14-!	14-!	14-!	13-!	13-!	14-!	14-!	14-!	14-!	14-!	13-!	14-!	13-!	14-!	14-!	14-!
308!	465!	468!	339!	322!	382!	301!	842!	837!	480!	487!	496!	364!	347!	820!	302!	783!	471!	313!	305!
14-!	14-!	14-!	14-!	13-!	14-!	14-!	13-!	13-!	14-!	14-!	14-!	14-!	14-!	14-!	13-!	14-!	14-!	14-!	13-!
335!	327!	337!	502!	784!	307!	327!	806!	769!	390!	500!	471!	393!	380!	480!	806!	320!	355!	344!	820!

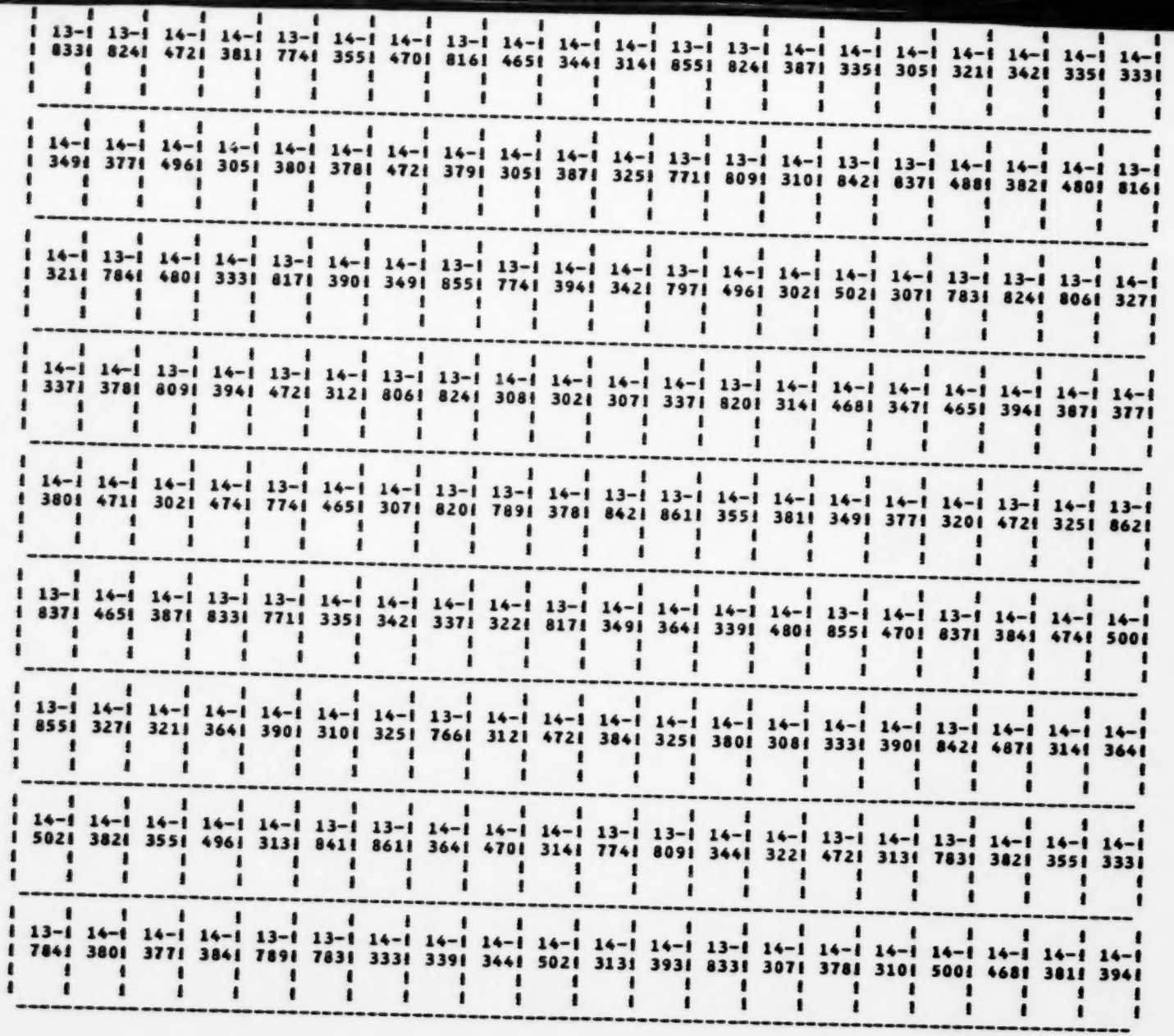


Figure 3. Plan d'un verger à graines d'un seul tenant.

RÉFÉRENCES

Association forestière canadienne, 1977. Canada: Urgence forêt! *In* : Compte rendu Conférence nationale sur la régénération forestière. 264 p.

Beaudoin, R.; Desaulniers, G. 1980. Méthode de distribution des familles dans un test génétique pour l'amélioration et la production de semences du pin gris. Gouv. Québec, MER., Serv. Rech. For. Mémoire No. 65. 45p.

Bell, G.D.; Fletcher, A.M. 1978. Computer organized orchard layouts (COOL) based on the permutated neighbourhood design concept. Silvae Genetica 27 (6): 223-225.

Conseil des Sciences du Canada, 1983. La forêt canadienne en danger. Déclaration du Conseil des sciences. 17p.

Giertych, M. 1975. Seed orchard designs. *In* : Seed Orchards (ed.: R. Faulkner) For. Comm. London Bull. No. 54: 25-37.

Nanson, A. 1985. The evolving seed orchard: A new type. IUFRO Congress, W.P. S2.02.11 Norway spruce provenances, Vienna, Austria, June 9-15, 1985.